

LENTOKONEVAAKOJEN KALIBROINNIN AUTOMATISOINTI



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakosken yksikkö, Automaatiotekniikan koulutusohjelma

2017

Tomi Lento

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Valkeakosken yksikkö

Tekijä	Tomi Lento	Vuosi 2017
Työn nimi	Lentokonevaakojen kalibroinnin automatisointi	
Työn ohjaaja/t	Katariina Penttilä	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Ilmavoimien Varikon Akkreditoitu Kalibrointilaboratorio, joka kuuluu Suomen Puolustusvoimien 3. Logistiikkarykmenttiin.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella automatisoitu ohjaus lentokonevaakojen kalibrointityöhön.

Teoriaosuudessa kerrotaan akkreditoidun kalibroinnin periaatteista ja siihen käytettävistä mittalaitteista. Työssä käydään läpi Akkreditointia käsitteenä ja kalibroinnin tarkoitusta sotilasilmailussa.

Tämän opinnäytetyön tuloksena saadaan automatisoitu lentokonevaakojen kalibrointijärjestelmä, jolla pystytään suorittamaan kalibrointityö luotettavasti.

Avainsanat Akkreditointi, Kalibrointi, Vaaka

Sivut 27 sivua, joista liitteitä 4 sivua

Electrical and automation engineering
Valkeakoski Campus

Author	Tomi Lento	Year 2017
Subject	Automation of aircraft scale	
Supervisors	Katariina Penttilä	

ABSTRACT

This work was commissioned by a calibration laboratory the accredited by the Finnish Air Forces which is a part of the 3rd, Logistic Regiment of the Finnish Defence Forces.

The objective of this thesis was to produce automated guidance for the aircraft scales which are used in calibration work.

The theory part of this thesis will include the principles of accredited calibration and the indicators which are part of it. The work examines the concept of accreditation and what calibration stands for with defence aircraft.

As an outcome of this work the result gives an automation unit for the calibration of aircraft scales that can be created, which can be used reliably in calibration work.

Keywords Accreditation, calibration, scale

Pages 27 pages including appendices 4 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	METROLOGIA.....	1
3	AKKREDITOITU MITTAAMINEN.....	2
3.1	Mitä on akkreditoitu toiminta?	2
3.2	Akkreditoinnin tarpeellisuus	3
4	KALIBROINTI.....	4
4.1	Mitä on kalibrointi?	4
4.2	Kalibroinnin merkitys	4
4.3	Kalibroinnin jäljitettävyys	4
4.4	Kalibroinnin epävarmuus	5
4.4.1	Epävarmuuskomponenttien vaikutus mittaustulokseen	5
4.4.2	Epävarmuuskomponenttien yhdistäminen	6
4.4.3	Mittausepävarmuus	7
5	PAINE	8
5.1	Paineen yksikkö	8
5.2	Absoluuttinen paine	9
5.3	Ylipaine	9
5.4	Alipaine.....	9
5.5	Hydrostaattinen paine	10
6	LENTOKONEVAAKOJEN MITTAAMINEN	10
6.1	Laitteiston esittely	12
6.2	Vaakajärjestelmän käyttäminen	12
6.2.1	Mittauspöytä	12
6.2.2	Öljysäiliö ja käsikahva	13
6.2.3	Näyttö	14
6.2.4	Nestesylinteri.....	15
6.2.5	Enerpac RC 1006.....	15
6.3	Antureiden kalibrointi	16
6.4	Kalibrointitulokset	18
7	UUDEN LAITTEISTON TOTEUTUS	18
7.1	Raiha Hydraulics Oy.....	19
7.2	Wika yrityksenä	19
7.3	Wika CPC4000	19
7.4	Ilma - öljyvälitin	20
8	YHTEENVETO	21
	LÄHTEET	22

Liitteet

Liite 1	Kalibrointipöytäkirja
Liite 2	Painekuva

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Ilmavoimien Varikon Akkreditoitu kalibrointilaboratorio, joka kuuluu Suomen Puolustusvoimien 3. Logistiikkarykmenttiin. Akkreditoidun laboratorion tehtäviin kuuluu tarjota palveluja ensisijaisesti sotilasilmailuun sekä erillisestä tilauksesta siviili-ilmailuun. Kalibrointilaboratorio noudattaa kalibrointitoiminnassa standardia SFS-EN ISO/IEC 17025 sekä laatuksikirjassa, menettely- ja työohjeissa kuvattuja menettelyjä. Kalibrointilaboratorio noudattaa kalibrointitoiminnassa soveltuvien osin myös Ilmavoimien ja Puolustusvoimien ohjeita ja määräyksiä. Akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden Suomessa käyttämä FINAS- akkreditointitunnus on muodossa KXXX. Kalibrointilaboratorion lyhenteenä käytetään Puolustusvoimissa muotoa K013, joka saattaa myös esiintyä tässä opinnäytetyössä.

Työn tarkoituksena on tehdä nykyisestä vaakalaitteistosta automatisoitu. Nykyinen vaakojen kalibrointi tapahtuu manuaalisesti säätämällä. Työn valmistuttua harkitaan tehdä vaakojen kalibroinnista akkreditoitu suure massojen punnitukseen. Lentokoneiden punnitseminen on tärkeä toimenpide ennen lentotoimintaan ryhtymistä. Lentokonevaakojen antureiden kalibrointi tietyn määrä - ajan kuluessa on välttämätöntä. Sotilasilmailun viranomaisyksikkö, SVY, on Ilmavoimien esikunnan yhteydessä toimiva sotilasilmailuviranomainen. Sillä on itsenäinen ratkaisuvallta sotilasilmailua koskevissa asioissa, jotka kuuluvat sen toimivaltaan ilmailulain mukaan. Sotilasilmailun viranomaisyksikön alaisuudessa on Tekninen järjestelmäsektori, joka kehittää sekä ylläpitää sotilasilmailun teknillisiä järjestelmiä koskevaa sotilasilmailun viranomaistoimintaa. Tekninen järjestelmäsektori tarkastaa säännöllisesti sotilasilmailun lentokalustoa sekä teknisten järjestelmien käyttöä ja toiminnanharjoittajia. Tekninen järjestelmäsektori myös pitää sotilasilma-alusrekisteriä sekä ohjaa kaikkea ilmailuun liittyvää toimintaa sotilasilmailun turvallisuuden parantamiseksi.

2 METROLOGIA

Metrologia on tiede, joka tutkii mittaamista ja mittausyksiköitä. Metrologian toiminta perustuu kansainväliseen metrisopimukseen. Metrisopimus on 20. toukokuuta vuonna 1875 Pariisissa solmittu sopimus, joka perustuu alkujaan 1700-luvun lopulla käyttöön otettuun mittayksikköjärjestelmään. (Wikipedia, 2017)

Metrologialla on pitkät perinteet, sillä jo 3000 vuotta eKr. käytettiin temppeleiden ja pyramidien rakennustyömailla mittoina graniitista tai puusta tehtyjä kyynärämittoja. Samalta ajalta Mesopotamiasta on peräisin

nestemitta 'sila', joka oli noin 0,48 litraa. Ruotsissa mittoja ja painoja koskevia ensimmäisiä säännöksiä on julkaistu jo 1400-luvulla. (Mikes, 2011)

Suomessa on ollut käytössä ruotsinvallan ajalta 10.3.1665 peräisin oleva säädös "Kungliga Majestets förordning om mått och vikt". Kansainvälinen yksikköjärjestelmä *Système International d'Units*, eli SI-järjestelmä sai alkunsa vuonna 1875 allekirjoitetusta metrisopimuksesta. (Mikes, 2011)

Suomi siirtyi metrijärjestelmään vuonna 1886. Aluksi tärkeimmille mittaustyksiköille, metrille ja kilogrammalle, valmistettiin prototyyppit, joita säilytetään Pariisissa kansainvälisessä paino ja mitta -toimistossa (BIPM, *Bureau International des Poids et Mesures*). SI-järjestelmän periaatteet vahvistettiin vuonna 1960. (Mikes, 2011)

Yhteiskunnan kannalta merkittävien mittausten luotettavuus on katsottu niin tärkeäksi, että niiden varmentamiselle on asetettu laissa vaatimuksia. Varmentamistoimenpiteiden ja säädösten muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan lakisääteiseksi metrologiaksi. Säännellyistä aloista kaupankäynti ja hinnan määrittämiseen liittyvät mittaukset ovat perinteisimpiä. Niissä yhdistyvät kuluttajansuoja ja reilun kilpailun edellytysten turvaaminen. Mittauslaitedirektiivin (MID) pohjalta tapahtuva kansallisten säädösten saattaminen ajan tasalle on vielä kesken. (Mikes, 2011)

Vakauslain 219/1965 tilalle on valmistunut uusi mittauslaitelaki 707/2011, joka tuli voimaan 1.7.2011. Esimerkkeinä uudistuvien säädösten piiriin tulevista mittauslaitteista ovat esimerkiksi sähkö- ja lämpö-energiamittarit sekä vesi- ja kaasumittarit. Kokonaiskuvan saamiseksi mitaustoiminnan ohjauksesta ja lainsäädännön valmistelusta on tärkeää ymmärtää myös eri organisaatioiden, kuten Mittatekniikan keskuksen (MIKES) tai Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) rooli jokapäiväisessä työskentelyssä, sekä tuntee niiden valmistelemat ohjeet, säädökset ja asetukset. Omilla erityisaloillaan vastaavaa työtä tekevät esimerkiksi Säteilyturvakeskus (STUK), Suomen ympäristökeskus (SYKE), Aalto-yliopisto, Geodeettinen laitos (GL), Ilmatieteen laitos. (Mikes, 2011)

3 AKKREDITOITU MITTAAMINEN

3.1 Mitä on akkreditoitu toiminta?

Akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden yhtenä tehtävänä on jäljitettävyyden siirtäminen. Akkreditoidut laboratoriot ilmaisevat mittaustuloksen tai asiakkaan käyttämän mittanormaanin yhteyden ilmoitettuihin referensseihin, jotka ovat yleensä kansallisia tai kansainvälisiä mitta- normaaleja. Mittaustulokset listataan sellaisen vertailuketjun välityksellä, jossa on ilmoitettu kaikkien ketjuun kuuluvien vertailujen epävarmuudet. (Finas, 2017)

Akkreditoidut kalibroitilaboratoriot kalibroivat mittalaitteita moniin suuriin liittyen. Tällaisia suurealueita ovat esimerkiksi mitattavat sähkösuureet, paine, aika- ja taajuus, lämpötila, pituus, tilavuus, massa, voima ja kovuus. Akkreditoidun kalibroitilaboratorion toiminta vastaa standardin ISO 9001 mukaiselle toiminnalle asetettuja sääntöjä.

Standardin ISO 9001:n vastaavuus on esitelty kansainvälisten alan organisaatioiden ISO, ILAC ja IAF yhteisessä julkilausumassa. Suomessa toimivien kalibroitilaboratorioiden akkreditointivaatimus on standardin SFS/EN ISO/IEC 17025:2005:n mukainen. Akkreditoituja kalibroitilaboratorioita koskee myös olennaisena osana mittausepävarmuuden laskemiseen ja ilmoittamiseen liittyvä opas EA-4/02 M: 2013. FINAS:in arviointiperiaate A2 esittää ohjeet laboratorioiden laadunvarmistus- ja vertailumittauskäytäntöjen auditoinneille. (Finas, 2017)

Kalibroitilaboratorioiden edellytetään yhtenä laadunvarmistustoimenpiteenään osallistuvan myös vertailumittauksiin. Laboratoriolla tulisi olla laadunvarmistusohjelma, johon on sisällytetty sekä vertailumittauspolitiikka sekä vertailumittausuunnitelma. Laadunvarmistusohjelman tulisi kattaa erityisesti akkreditoinnin piirissä koko laboratorion toiminta pidemmällä aikavälillä. Suositeltava aikaväli on minimissään akkreditointikausi, joka on neljä vuotta. Laboratorion tulee kuitenkin joka vuosi arvioida ohjelman sopivuus. Arvioinnissa tulee huomioida muutokset toiminnassa ja muutosten aiheuttamien riskien arviointi. Laadunvarmistusohjelman tulisi sisältää myös ne muut menettelyt, joilla laboratorion tulee varmistaa tulostensa oikeellisuus, jos vertailumittauksia ei ole ollut saatavilla. (Finas, 2016)

3.2 Akkreditoinnin tarpeellisuus

Finas akkreditoi, eli toteaa päteväksi. Akkreditoitujen kalibroitilaboratorioiden tulee suorittaa jäljitettävyyden siirto eli ilmaista mittaustuloksen tai asiakkaan antaman mittanormaanin yhteys määritettyihin referensseihin jotka ovat yleensä kansallisia tai kansainvälisiä mittanormaaleja sellaisen luotettavan vertailuketjun välityksellä, jossa on ilmoitettu kaikkien osapuolien vertailumittausten epävarmuudet. Mittausepävarmuus on taas mittaustulokseen liittyvä tietoa, joka kuvaa mittaussuureen arvojen oletettua vaihtelua. Mittausepävarmuuden suuruus vaikuttaa tuloksen hyväksymiseen ja siihen vaikuttaviin tekijöihin joita ovat mm. mittauksen kohde, mittalaite, mittaaja, mittausmenetelmä sekä mittauksen aikana olevat ympäristöolosuhteet. (Finas, 2017)

Akkreditointipäätöstä arvioidessa huomioidaan vertailumittauksissa pärjääminen muiden laboratorioiden kesken. Jos laboratorio ei ole menestynyt arviointikriteerien mukaisesti tai laboratorio ei ole kyennyt osoittamaan korjaavien toimien tai muun selvityksen avulla tulosten oikeellisuutta, voidaan menetelmä ottaa pois pätevyysalueesta siihen saakka, kunnes tulosten oikeellisuus on todettu päteväksi. (Finas, 2017)

4 KALIBROINTI

4.1 Mitä on kalibrointi?

Kalibroinnissa täytyy verrata mittalaitteita toisiin vielä tarkempiin standardeihin. Standardin mukaisina referensseinä voidaan käyttää SI-järjestelmän suureita. (Kumpulainen, 2016). Esimerkiksi mittanauhan kalibroinnin tulos on taulukko, jossa on vierekkäin tarkka tosiarvo sekä mittanauhan antama arvo. Jos mittanauhan tulos on 3000,0 mm, luetaan taulukosta, että todellinen mitta onkin esimerkiksi 3000,2 mm. Kalibroinnin tuloksen mukaan osa mittalaitteista pystytään säätämään näyttämään tarkemman mitattavan arvon ja antamaan pienemmän mittausrvirheen. Esimerkiksi kelloa voidaan säätää näyttämään tarkempaa aikaa. Tämä säätäminen ei kuitenkaan tee kellon koneistosta tarkempaa tai parempaa, vaan kello on jälleen väärässä ajassa hetken kuluttua. Kelloon tehdään ns. nollaus kalibroimalla, jolloin ajan muuttuminen voidaan ilmoittaa kalibrointitodistuksessa. Vaaka on toinen saman tyyppinen laite, jonka nollapiste lähtee muuttumaan helposti. Vaa'an kalibroinnilla pyritään selvittämään, kuinka paljon vaa'an antama tulos poikkeaa standardista, eli kalibroidusta massasta eri kuormilla punnittuna. Tuloksen nollaus on toimenpide, joka olisi syytä tehdä vaa'alle ennen punnitusta. (Wikipedia, 2016)

4.2 Kalibroinnin merkitys

Ilman kalibrointia mittausjärjestelmä voi antaa ainoastaan kvantitatiivista tietoa mittauskohteesta. Kaikkien kalibrointien olisi oltava jäljitettäviä toisiin vastaaviin mittanormaaleihin tai määritelmiin, jotta eri kalibrointilaboratorioissa mitatut arvot ovat keskenään vertailukelpoisia. Jäljitettävä kalibrointi kykenee antamaan yhteyden mitatun arvon ja mitattavan suureen todellisen arvon välille. Mittalaite täytyy siis kalibroida niin, että mittalaitteen kalibroinnin tulosta verrataan tarkempaan mittalaitteeseen, jonka epävarmuus on tiedossa. Tarkemmalla mittalaitteella on oltava jäljitettävyys SI-mittayksikköön.

4.3 Kalibroinnin jäljitettävyys

Tieto on päätösten ja johtopäätösten perusta ja ilman tarkkoja mittauksia ei objektiivista, havaintoihin ja kokeisiin perustuvaa tietoa voi saada. Jos mitattava kohde ei muutu, on eri aikana eri laitteilla tehtyjen mittaustulosten oltava yhtäpitäviä mittalaitteiden mittaustarkkuuksien rajoissa. Mittauksen toistettavuus on metrologian kulmakivi, joka toteutetaan jäljitettävyyden avulla. Jäljitettävyyden perustana ovat mittalaitteiden kalibroinnit, joissa verrataan mittalaitteen antamaa lukemaa mittanormaalin ilmoittamaan arvoon. Mittanormaali ymmärretään mittalaitetta, jota käytetään referenssinä ja jolla on ilmoitettu suuren arvo ja siihen liittyvä mittauserävarmuus. Kalibroinnissa saadaan siis tietoa siitä kuinka paljon

tietty mittalaite näyttää väärin. Jäljitettävyydellä ymmärretään sellaista SI-yksikköön ulottuvaa katkeamatonta kalibrointiketjua, jossa alla olevat asiat toteutuvat:

- kaikista ketjun osista on olemassa kalibrointitodistus
- mittausmenetelmä on dokumentoitu
- mittaustulokset on kirjattu ja säilytetty
- kalibroinnit ovat ajan tasalla
- laitteet ovat yksilöitävissä
- mittausepävarmuus on tiedossa ja ilmoitettu
- kalibroinnit tehneet laboratoriot ovat osoittaneet pätevyytensä

Kansallinen mittanormaali on kansallisen päätöksen perusteella tunnustettu mittanormaali, joka toimii kansallisena perustana määritettäessä kyseessä olevan suureen muiden mittanormaalien arvoja. Suomen kansallisia mittanormaaleja ylläpitää ja kehittää MIKES. Optisten suureiden kohdalla kansallisena mittanormaallaboratoriona toimii MIKES - Aalto Mittaustekniikka. Geodeettinen laitos (putoamiskiihtyvyys ja pituus) ja Säteilyturvakeskus (ionisoiva säteily) toimivat myös kansallisina mittanormaallaboratorioina, mutta näiden asema perustuu niiden omaan lainsäädäntöön. (Mikes, 2017)

Kansallisia mittanormaaleja verrataan säännöllisin väliajoin muiden maiden vastaaviin mittanormaaleihin. Perustavaa laatua olevien kansainvälisten mittanormaalien ylläpito, alan kehityksen koordinointi sekä kansainvälisten vertailumittausten järjestäminen kuuluu kansainvälisen paino- ja mittatoimiston BIPM:n (Bureau international des poids et mesures) tehtäviin. (Mikes, 2017)

4.4 Kalibroinnin epävarmuus

Mittausepävarmuuden laskemisesta on julkaistu useita standardeja sekä suosituksia. Eniten julkisessa käytössä ollut on International Organization for Standardization (ISO), joka on perustettu vuonna 1947. ISO on julkaisut yli 19 500 kappaletta kansainvälisiä standardeja. ISO 9000 ja sen alla oleva ISO 9001 standardit säätelevät laadunhallintajärjestelmiä.

4.4.1 Epävarmuuskomponenttien vaikutus mittaustulokseen

Epävarmuuskomponentin vaikutusta mittaustulokseen on mahdollista arvioida mittausyhtälön avulla osittaisdifferentiaaleilla. Helpoin tapa on käyttää suhteellista epävarmuutta. Kerrottavien sekä jaettavien suureiden suhteelliset epävarmuudet voivat aiheuttaa yhtä suuren suhteellisen epävarmuuden mittaustulokseen, kun epävarmuuksia lasketaan. Kaava 1. näyttää suhteellisen epävarmuuden kaavan.

$$\frac{u(Y)}{Y} = \frac{u(x)}{x} \quad (1)$$

Jos suure on yhtälössä korotettu potenssiin n , on tuloksellinen suhteellinen epävarmuus n -kertainen. (HUT, 2007)

Mittaustulos Y riippuu mitattavista suureista x_1 seuraavasti:

$$Y(x_1, x_2, x_3, x_4) = \frac{x_1 \cdot x_2}{x_3 \cdot (x_4)^n} \quad (2)$$

Suureet x_1, x_2 ja x_3 aiheuttavat jokainen Y :n yhtä suuren epävarmuuskomponentin. Esimerkiksi 0,5 %:n epävarmuus x_1 :ssä aiheuttaa 0,5 %:n epävarmuuden arvoon Y . (HUT, 2007)

4.4.2 Epävarmuuskomponenttien yhdistäminen

Epävarmuuskomponenttien vaikutukset mittaustulokseen täytyy laskea. Epävarmuuskomponenttien on oltava toisistaan riippumattomia. Kokonaisepävarmuus lasketaan suhteellisten epävarmuuskomponenttien neliösummana. (HUT, 2007)

$$\frac{u_c(Y)}{Y} = \sqrt{\sum_{i=1}^4 \left(n_i \cdot \frac{u(x_i)}{x_i} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{n_1(x_1)}{x_1} \right)^2 + \left(\frac{n_2(x_2)}{x_2} \right)^2 + \left(\frac{n_3(x_3)}{x_3} \right)^2 + \left(\frac{n_4(x_4)}{x_4} \right)^2} \quad (3)$$

Yleisiä epävarmuuskomponentteja voivat olla:

Mittalaitteista johtuvat

- kalibrointi
- kalibroinnista kulunut aika
- lineaarisuus
- taajuusriippuvuus
- resoluutio
- mittalaitteen stabiilius

Olosuhde edellytyksiä ovat

- lämpötila, kosteus, paine
- sähköiset häiriöt
- verkkojännite

Erityisesti näiden edellytysten vaihtelu mittauksen aikana

Käyttäjistä aiheutuvat

- mittarin asento
- lukematarkkuus
- alkuasetukset

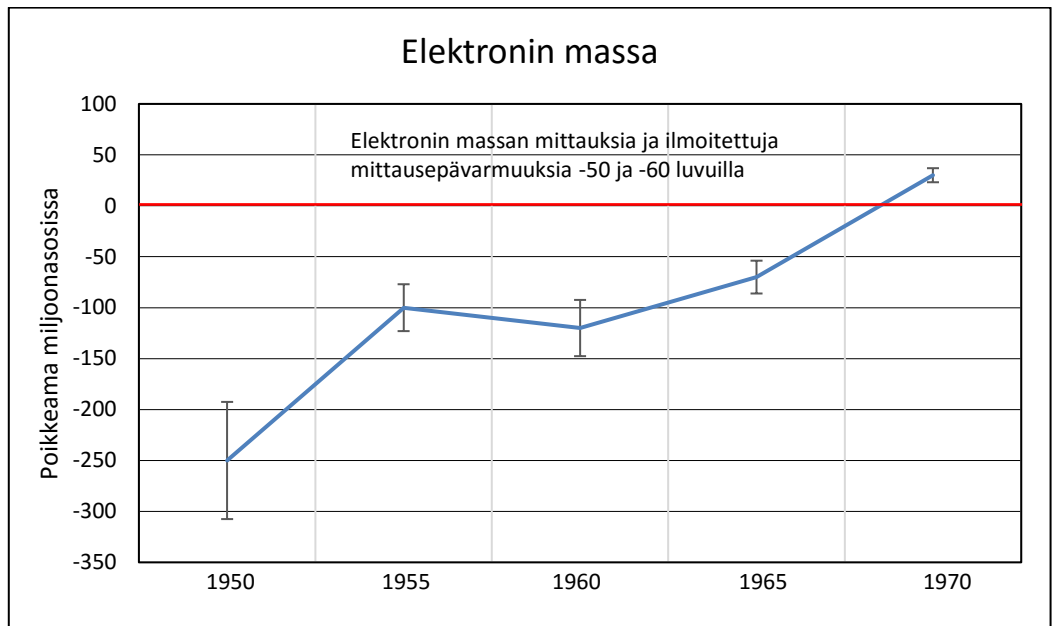
Mittauskohteesta johtuvat

- mittarin vaikutus mittauskohteeseen
- kuormitus
- maasilmukat
- vuotovirrat
- mittajohdot
- epäsovitukset
- mitattavan ilmiön stabiilius

4.4.3 Mittausepävarmuus

Mittaustuloksia ilmoitettaessa mittausvirhettä ei aina tiedetä, jolloin joudutaan käyttämään mittausepävarmuutta. Mittaustulos ilman käsitystä tulokseen liittyvästä mittausepävarmuudesta on merkityksetön. Mittaustulokseen vaikuttaa yleensä monta tekijää ja tämän takia on muistettava, että mitattavan laitteen kalibrointitodistuksessa ilmoitettu epävarmuus ei ole aina sama asia kuin sillä tehtävän mittauksen epävarmuus. Mittarin käytönaikaiseen epävarmuuteen sekä mittaustuloksen epävarmuuteen vaikuttaa myös muita tekijöitä. Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi mittauslaitteen näyttämä sekä lukema. Kaikkia tekijöitä ja niiden tarkkoja suuruuksia ei välttämättä aina tunneta, mutta niitä pyritään aina arvioimaan parhaan ammattitaidon ja kokemuksen mukaisesti. Mittausepävarmuuden laskeminen on tärkeä osa kalibrointia sekä mittaustulosten jäljitettävyyden analysointia. Mittausepävarmuus tulee ilmoittaa tulosten yhteydessä kalibrointitodistuksessa. Epävarmuuteen liittyvät laskentamenetelmät pohjautuvat nykyisin julkaisuun Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). GUM:n julkaisi alun perin ISO (International Organization for Standardization) vuonna 1993. (Mittaustekniikan perusteet, 2006)

Kuvassa 1. on esitetty mittausepävarmuuden kehittymistä elektronin massan mittauksissa.



Kuva 1. Elektronin massan kuvaus (HUT, 2007)

5 PAINE

Paine kuvaa nesteen tai kaasun tilaa. Paine ilmenee puristusvaikutuksena rajapinnoissa. Paineella ei ole suuntaa, mutta puristusvaikutuksella on. Se kohdistuu aina kohtisuorasti pintaa vastaan. Tasapainotilassa systeemissä on kaikkialla sama puristustilan voimakkuus. Tästä saadaan paineen leviämisen laki, jonka mukaan paine on kaikkialla sama. Puristusvaikutusta voi tarkastella esimerkiksi erikokoisilla suljetuilla injektioruiskuilla. Voidaan huomata, että puristusvaikutus on sitä suurempi, mitä suurempi on puristava voima, tai mitä pienempi on männän pinta-ala. (Jari Lavonen, 2017)

5.1 Paineen yksikkö

Paine (p) on suure, joka ilmaisee kohtisuoraan vaikuttavaa voimaa (F) pinta - alayksikköä (A) kohden eli

$$p = F / A. \quad (4)$$

Paineen yksikkö SI järjestelmän mukaan on pascal (Pa). Yksi pascal on paine, jonka yhden newtonin suuruinen voima tasaisesti jakautuneena aiheuttaa yhden neliömetrin pinta-alalle ($1\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$).

Pienestä yksiköstä johtuen käytetäänkin usein sen kerrannaisia:

$$1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$$

1 kPa = 1000 Pa

1 Mpa = 1000000 Pa

Yleisesti käytetään myös SI-järjestelmään kuulumatonta baaria (bar):

1 bar = 100000 Pa = 1000 hPa = 0,1 MPa.

Muita paineen yksiköitä

1 mbar = 1 hPa = 100 Pa

1 psi = 6894,757... Pa

1 mmHg = 1 torr = 133,322... Pa

1 kp/cm² = 9,80665 x 10⁴

Paineen mittaaminen perustuu paine-eron mittaamiseen. Paineelle on olemassa useita nimityksiä sekä mittalaitteita riippuen siitä, mihin tulosta verrataan. Absoluuttisen paineen vertailuarvo on aina tyhjiö, kun taas vastaavasti ylipainetta ja alipainetta mitattaessa vertailuarvona on ympärillä oleva ilmanpaine, joka on meitä ympäröivän ilmakehän aiheuttamaa absoluuttista painetta. Kun puhutaan paine - erosta tarkoitetaan, että vertailuarvona on jonkinlainen muu paine kuin tyhjiö tai ympärillä oleva ilmanpaine. (Saxholm, 2011)

5.2 Absoluuttinen paine

Vertailuarvona on tyhjiö, joten absoluuttinen paine on aina nollaa suurempi. Ylipaine voidaan muuntaa absoluuttipaineeksi lisäämällä siihen muunnoshetkellä vallitseva ilmanpaine. Pienille absoluuttipaineille tarkoitettuja mittareita kutsutaan vakuuimittareiksi.

5.3 Ylipaine

Vertailuarvona on ympäröivä ilmanpaine. Esimerkkinä voidaan ajatella auton rengaspainetta, joka on ylipainetta. Yleisessä kielenkäytössä ”paine” tarkoittaa yleensä ylipainetta. (Saxholm, 2011)

5.4 Alipaine

Alipaine on aina negatiivista ylipainetta, jonka vertailuarvona on ympärillämme oleva ilmanpaine. Absoluuttipaineeksi muutettuna alipaine on aina ympärillämme vallitsevaa ilmanpainetta pienempi. Alipaine tarkoittaa kohteen pienempää painetta verrattaessa yleiseen ympäristöön. Alipainetta mitataan yleensä pumppujen imupuolelta sekä polttomoottorien imusarjasta. Alipaine voi aiheuttaa terminä joissakin tapauksissa sekaannusta; eri julkaisujen laatijat ovat useasti törmänneet tilanteeseen, jossa kalibrointia tilaava asiakas saattaa puhua alipainemittarista vaikka hän

tarkoittaakin vakuuimittaria tai pienten absoluuttipaineiden mittaamiseen tarkoitettua mittaria. (Saxholm, 2011)

5.5 Hydrostaattinen paine

Hydrostaattinen paine tunnetaan nesteen tai kaasun oman painovoiman aiheuttamana paineena. Hydrostaattinen paine voidaan laskea kaavalla:

$$p = \rho gh \quad (5)$$

missä

ρ	on väliaineen tiheys
g	on putoamiskiihtyvyys
h	on korkeus

Hydrostaattisen paineen aiheuttaa väliaineen oma painovoima. Väliaine voi olla nestettä tai kaasua. Hydrostaattisen paineen suuruuteen ei vaikuta väliaineen tilavuus tai massa, vaan ainoastaan sen tiheys ja korkeus. Siksi esimerkiksi nesteessä kaikki samalla syvyydellä olevat kappaleet ovat yhtä suuren paineen ympäröimänä. Jos erimuotoisissa astioissa on samaa nestettä yhtä korkealla, asioiden pohjassa vallitsee yhtä suuri paine. Toisin sanoen hydrostaattiseen paineeseen ei vaikuta astian muoto. (Saxholm, 2011)

Hydrostaattista painetta on olemassa joka paikassa painovoimakentän vaikutusalueella. Kyseessä voi siis olla putkisto tai painekammio, tai laajempi kokonaisuus, kuten esimerkiksi ilmakehä tai meri. (Saxholm, 2011)

Hydrostaattisesta paineesta johtuen väliaineen sisällä vallitsevaan paineeseen vaikuttaa siis aina kaksi tekijää, jotka ovat väliaineeseen, eli nesteeseen tai kaasuun kohdistuva ulkoinen paine tai väliaineen omasta painosta johtuva hydrostaattinen paine. (Saxholm, 2011)

6 LENTOKONEVAAKOJEN MITTAAMINEN

Sotilasilmailun viranomaisyksikön tehtävät pohjautuvat ilmailulakiin (864/2014), lakiin puolustusvoimista (551/2007), lakiin sotilasilmailuonnettomuuksien tutkinnasta (526/2011) ja turvallisuustutkintalakiin (525/2011). (Puolustusvoimat, 2017)

Sotilasilmailun viranomaisyksikkö pystyy määrittelemään vaatimukset sotilasilma-alusten, niiden osien tai laitteiden huoltoja suorittaville sotilas- ja siviiliorganisaatioille julkaisemallaan sotilasilmailumääräyksellä SIM-To-it-001. Sotilasilmailumääräys SIM-To-it-001 määrittelee muun muassa

vaatimukset tiloille, henkilöstölle sekä huoltovälineille ja varusteille. (Ilmavoimat, 2007)

Sotilasilmailun viranomaisyksikön päällikkö pystyy päättämään sotilasilmailuviranomaisen toimivaltaan kuuluvien oikeussääntöjen ja päätösten antamisesta. Sotilasilmailun viranomaisyksikön tutkimuspäällikkö tarkastaa sotilasilmailussa noudatettavan lentoturvallisuuden hallintajärjestelmän toimintaa. Viranomaisyksikön kansliapalvelut ja tietopalvelut toimivat tutkimuspäällikön alaisuudessa noudattaen tutkimuspäällikön ohjeita. (Puolustusvoimat, 2017)

Tekninen sektori sekä järjestelmäsektori kehittävät sekä ylläpitävät yhdessä sotilasilmailun teknillisiä järjestelmiä koskevia sotilasilmailun viranomaistoimintoja. Sektori pystyy tarkastamaan sotilasilmailun lentokaluston ja teknisten järjestelmien käyttöä sekä toiminnanharjoittajia, pitää sotilasilma-alusrekisteriä sekä ohjaa toimintaa sotilasilmailun turvallisuuden kehittämiseksi ja ylläpitämiseksi. Sektorilla voidaan käsitellä kaluston tyyppihyväksyntään, ilma-alusten lentokelpoisuuteen sekä tyyppivastuun ja huolto-organisaatioiden valvontaan liittyviä asioita ja toimintoja. Sektorin asiantuntijuus on jaettu lentokelpoisuuden, huoltotoiminnan ja lennonvarmistuksen itsenäisiin osa-alueisiin. (Puolustusvoimat, 2017)

Lentotoimintasektori ja tukeutumissektori valvovat sotilasilmailun lentotoiminnan turvallisuutta, ilmatilanhallintaa ja operatiivista lennonvarmistusta. Sektorin toiminnot on jaettu lentotoiminnan, ilmatilan sekä ilmaliiikenteen ja tukikohtatoiminnan itsenäisiin osa-alueisiin. Sektorin tavoitteena on lentotoiminnan turvallisuuden varmistaminen ja sen pohjalta luodaan turvalliset ja hyvät olosuhteet tehokkaalle toiminnalle. (Puolustusvoimat, 2017)

Viranomaisyksikkö valvoo sotilasilmailun turvallisuutta puolustusvoimien ilmailun erityispiirteet huomioonottavalla tavalla. Viranomaisyksikkö edesauttaa sotilasilmailun hyvien käytäntöjen toteutumista sekä sotilasilmailualan normien kansainvälistä harmonisointia. Sotilasilmailuun kohdistuvalla vaatimusten asettamisella ja valvonnalla vaikutetaan ennalakoivasti sotilasilmailun turvallisuuden ja käytäntöjen kehittämiseen sekä varmistetaan toiminnan jatkuva parantaminen. Sotilasilmailussa tapahtuneet onnettomuudet sekä vakavat vaaratilanteet tutkitaan turvallisuustutkintalaissa osoitettujen periaatteiden mukaisesti mahdollisimman nopeasti. Vastuu pelkästään sotilasilmailussa sattuneiden onnettomuuksien sekä vakavien vaaratilanteiden tutkimuksen aloittamisesta on Sotilasilmailun viranomaisyksiköllä, jonka päällikkö laittaa jokaista tutkittavaksi määritettyä tilannetta varten itsenäisen tutkintaryhmän. (Puolustusvoimat, 2017)

Tutkimuspäällikkö toimii sotilasilmailun johtavana onnettomuustutkijana ja tämän johdosta yleensä myös sotilasilmailuonnettomuuden tutkintaryhmän johtajana. Tutkintaryhmä selvittää onnettomuuden osapuolista

puolueettomasti tapahtumaan johtaneet asiat. Tutkintaryhmän tulee myös mahdollisuuksien mukaan tehdä lista toimenpiteistä, joilla kyettäisiin tulevaisuudessa estämään vastaavanlaisen onnettomuuden tai vaaratilanteen syntyminen. Sotilasilmailun viranomaisyksikkö päättää tutkinnasta ja sen tulosten perusteella käynnistettyjen toimenpiteiden oikeellisuudesta. (Puolustusvoimat, 2017)

6.1 Laitteiston esittely

Nykyinen vaakajärjestelmä on noin kolmekymmentä vuotta vanha. Vaakajärjestelmä koostuu pääpiirteittäin mittauspöydästä, säädettävästä sylinteristä, öljysäiliöstä, näytöstä ja mittausantureista. Vaakaa käytetään lentokone-vaakojen kalibrointiin. Vaakojen kalibroinnit suoritetaan Puolustusvoimien omien joukko-osastojen vaakojen kalibrointiin. Kalibroivat vaakanturit ovat käytössä lentokoneiden massan punnituksessa. Tulokset kirjataan kalibrointipöytäkirjaan (liite 1), mistä löytyvät myös kalibroinnissa käytettävien laitteiden tiedot.

Laitteistoa käytetään myös muuhun kalibrointityöhön kuin lentotekniseen kalibrointiin.

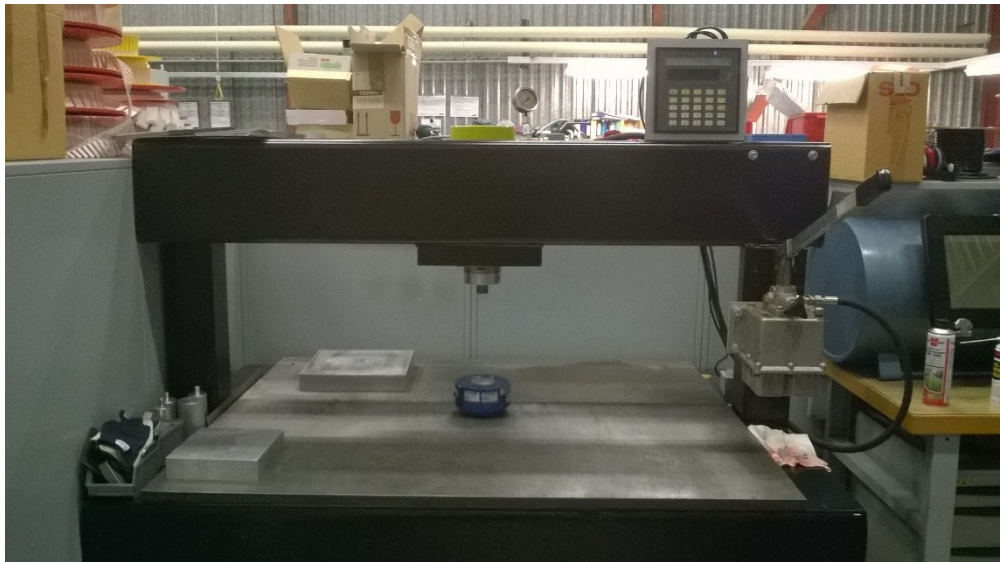
6.2 Vaakajärjestelmän käyttäminen

6.2.1 Mittauspöytä

Vaakajärjestelmään kuuluva mittauspöytä on hyvässä kunnossa. Mittauspöytä on tehty metallista. Mittauspöydän mitat ovat seuraavat:

- leveys 165 cm
- syvyys 116 cm
- pöytätason korkeus 81 cm
- sylinterin asennuskorkeus 155 cm

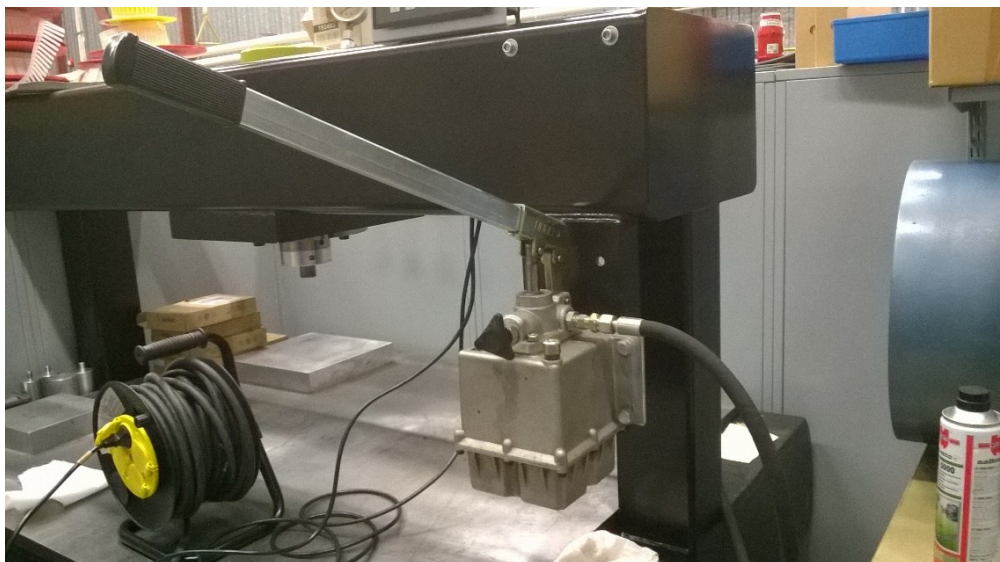
Mittauspöytä on tukevasti betonista lattiaa vasten ja sen jalat on tuettu erillisillä metallilistoilla, jolloin pöytä on saatu asennettua suoraan. Mittauspöytä on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Mittauspöytä

6.2.2 Öljysäiliö ja käsikahva

Mittaaminen suoritetaan sääten sylinterin painetta käsikahvalla. Paineen säätäminen käsikahvaa käyttäen on epätarkkaa ja tuloksen pitäminen stabiilina on työlästä. Käsikahva on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Käsikahva

Nestesylinterin öljysäiliö on käsikahvan alapuolella. Öljysäiliö vuotaa nestettä tiivisteistään. Öljysäiliö on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Öljysäiliö

6.2.3 Näyttö

Paineen tulos on luettavissa näytöltä. Mittaamisen epävarmuus on erittäin suuri käsikahvan vaikean säädön ansiosta. Säättäminen tarkkaan lukemaan on hankalaa ja työlästä, koska säädön aikana täytyy ottaa näytön lukema talteen. Säiliön ja letkujen vuodot aiheuttavat paineen lukeman muutoksen myös tuloksen kirjoittamisen aikana. Näyttö on liitetty mitausanturiin johdolla. Näyttö on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Näyttö

6.2.4 Nestesylinteri

Yksisuuntaisia sylintereitä pystytään käyttämään energian muuttamiseen sekä muuntamiseen. Sylinterien ja moottorien avulla voidaan muuttaa pneumaattinen energia mekaaniseksi liikkeeksi. Paineenmuuntimien avulla paine voidaan muuntaa suuremmaksi paineeksi ja paineensiirtimien avulla paine pystytään siirtämään väliaineesta toiseen. Toiminnan ja rakenteen perusteella sylinterit ryhmitellään neljään ryhmään (Hulkkonen, 2017):

1. yksitoimiset sylinterit
2. kaksitoimiset sylinterit
3. paineilmarasiat
4. erikoissylinterit

Yleisimmin käytössä oleva yksitoiminen sylinteri on jousipalautteinen työntösylinteri. Kun painetta lisätään, mäntä liikkuu ulos sylinteristä ja tämän johdosta jousi puristuu lyhyemmäksi ja männänvarsi työntyy sylinteristä ulospäin jousen voimasta. Painetta purettaessa jousi kykenee palauttamaan männän ja männänvarren alkuasentoon.

Yksitoimisen sylinterin ominaisuuksia ovat (Hulkkonen, 2017):

- työtä voidaan tehdä vain yhteen suuntaan
- jousipalautteinen sylinteri vaatii iskun suorittamiseen ylipaineen jopa ilman kuormaakin
- jouselle ei voi laittaa muuta kuormaa
- voima iskun loppuvaiheilla on vähän pienempi kuin iskun alkaessa. Tämä johtuu siitä, että jousen puristuessa jousivoima kasvaa
- jousipalautteinen yksitoiminen sylinteri on pidempi kuin kaksitoiminen sylinteri, kun iskunpituus on yhtä suuri. Kokoon puristetunakin jousi vaatii paljon tilaa

6.2.5 Enerpac RC 1006

Vaakapöydässä olevan nestesylinterin valmistaja on Enerpac ja malli RC 1006 (kuva 6.) Enerpac RC 1006 on yksitoiminen jousipalautteinen sylinteri. Yksitoimisen sylinterin mäntää voidaan liikuttaa paineen avulla vain yhteen suuntaan. Palautus tapahtuu jousen tai ulkoisen voiman vaikutuksesta. Enerpac RC 1006 nestesylinterin tekniset tiedot ovat alla:

- iskun pituus 168 mm
- männän pinta-ala 133,3 mm²
- öljyn tilavuus 2239 cm³
- lepokorkeus 357 mm



Kuva 6. Enerpac RC 1006 (Equipment, 2017)



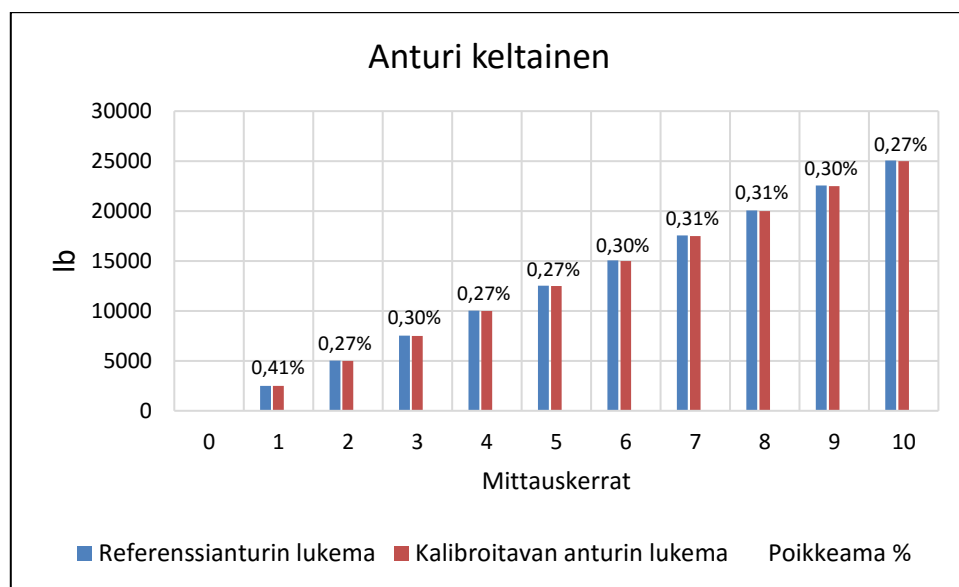
Kuva 7. Enerpac RC 1006 -sylinterin läpileikkaus (Equipment, 2017)

6.3 Antureiden kalibrointi

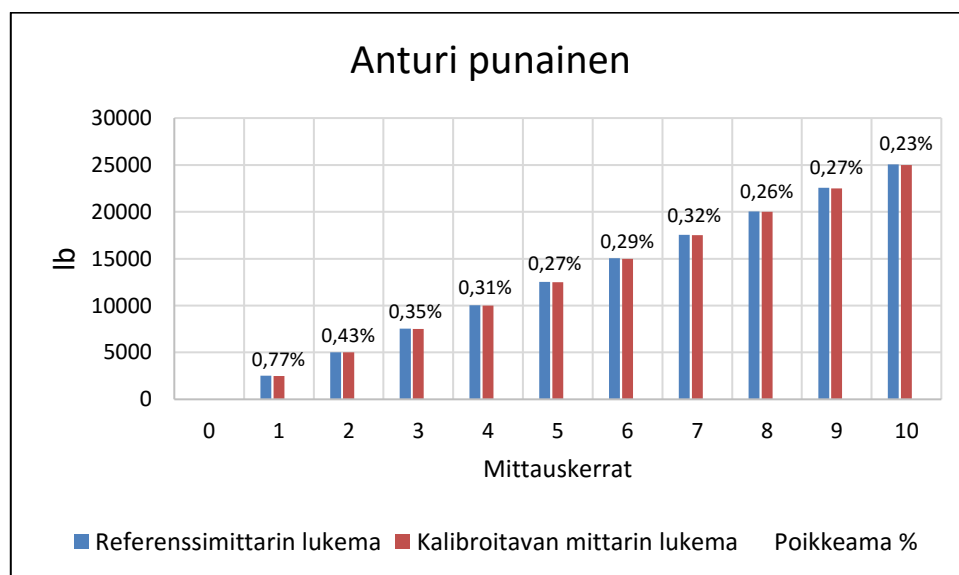
Lentokoneiden punnitseminen tapahtuu kolmijalkojen ”tripodien” päällä. Jokaisesta kolmijalasta kalibroidaan kaikki kolme anturia erikseen. Anturit on nimetty värikoodeilla sekaannusten välttämiseksi. Värikoodit ovat keltainen, punainen ja sininen.

Varsinainen lentokonevaakojen antureiden kalibrointi tapahtuu niin, että käytetään kymmentä kalibrointipistettä. Jokainen anturi kalibroidaan

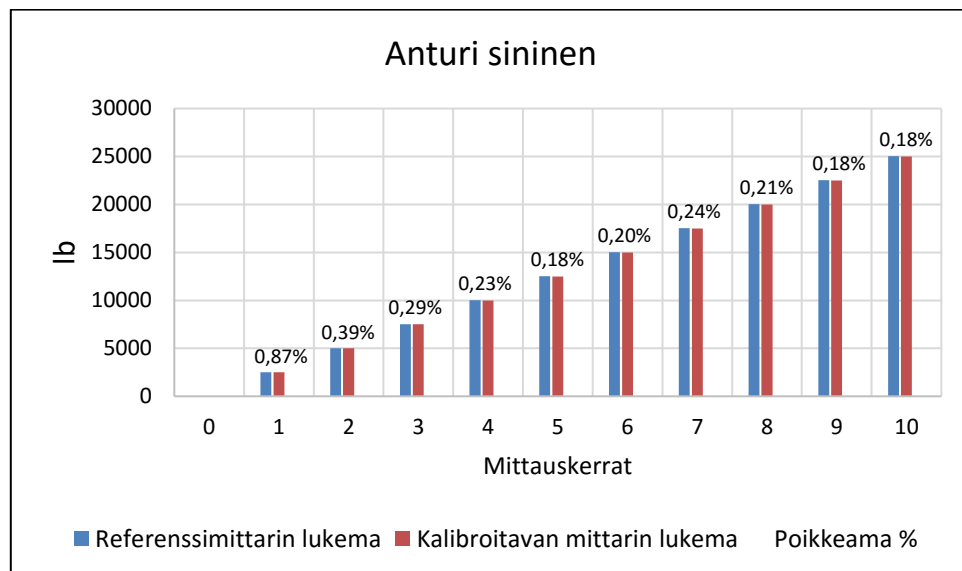
erikseen. Kalibrointi suoritetaan siten, että asetetaan lentokonevaa'an anturiin lukema ja verrataan sitä referenssi anturin lukemaan. Jokaisen kalibrointipisteen lukema kirjataan kalibrointipöytäkirjaan (liite 1). Kuvis-
sa 7 - 9 näkyy asetettu lukema ja vieressä referenssianturin lukema. Pro-
senttiluku kertoo, paljonko kalibroitavan anturin lukema poikkeaa refe-
rensianturin lukemasta.



Kuva 8. Mittaustulokset keltaisesta anturista



Kuva 9. Mittaustulokset punaisesta anturista



Kuva 10. Mittaustulokset sinisestä anturista

6.4 Kalibrointitulokset

Kalibrointitulokset esitetään aina virallisessa kalibrointipöytäkirjassa (liite 1). Kalibrointituloksen esitystapa voi olla erilainen riippuen millainen kalibrointipöytäkirja on käytössä. Tuloksessa voi olla pelkästään kalibroitavan mittarin yksittäisiä tuloksia vastaavat virheet tai korjaukset. Kalibroinnin tuloksena voi olla myös laskentakaava eli laskun yhtälö, jonka avulla mikä tahansa kalibroitavan mittarin näyttämä voidaan muuntaa oikeaksi. Tulosten esitystavasta riippumatta mittausepävarmuus on ilmoitettava aina tulosten yhteydessä. (Saxholm, 2011)

Painevaa'alle voidaan esittää kalibrointitodistuksessa mäntä-sylinteriyhdistelmän tehollinen pinta-ala ja männän sekä punnusten painoarvot. Jos tarkkuusvaatimukset eivät ole kovin vaativat, painevaa'an kalibroinnin tulos voidaan myös ilmoittaa pelkästään tiettyjä punnussyhdistelmiä vastaavat tulokset. (Saxholm, 2011)

Tässä kalibrointityössä tehdyt kalibroinnin raja-arvot vastaavat Ilmavoimien sisäisen kalibrointityön raja-arvoja.

7 UUDEN LAITTEISTON TOTEUTUS

Vaakapöydän uudistaminen vaatii kolmannen osapuolen hankkimaan vaaditut komponentit uuteen laitteistoon. Pyysin useammalta vaakalaitteistojen ja hydraulisten komponenttien valmistajalta sekä myyjältä tarjouksia vastaavan vaakajärjestelmän kehittämiseen.

7.1 Raiha Hydraulics Oy

Kolmanneksi osapuoleksi Lentokone vaakojen automatisointiin valikoitui Raiha Hydraulics Oy. Yhtiö on perustettu vuonna 1973 ja se on yksi vanhimmista yrityksistä hydraulikka-alalla Suomessa. Yrityksen hydraulikka-huolto sijaitsee Tampereella ja Vantaalla. Raiha Hydraulics Oy:n vuoden 2015 liikevaihto oli 6,6 miljoonaa euroa.

Yhteyshenkilöksi Raiha Hydraulics:n puolesta tuli Etelä-Suomen aluepäällikkö Ari Malmelin. Raiha Hydraulics Oy lupautui hoitamaan uuden laitteiston hankinnan ja toteutuksen asennuspalveluineen lentokonevaakojen automatisointiin. Uusi laitteisto päätettiin toteuttaa hydraulikka – öljy yhdistelmällä (liite 2). Hydraulikkaa ohjataan Wika CPC4000 – kalibrointilaitteella, joka on yhteydessä ilma-öljy välittimeen. Öljy toimii liikuttavana väliaineena mäntä-sylinteri pumppuun.

7.2 Wika yrityksenä

WIKA on globaali yli 9300 työntekijän perheyritys. Yhdessä tytäryhtiöiden ja yhteistyökumppanien kanssa, WIKA on johtava toimija paineen ja lämpötilan mittauksessa. WIKA on myös toimijana pinnakorkeuden- ja virtauksen mittauksissa, sekä kalibrointiteknologiassa. (WIKÄ, 2017)

WIKA on perustettu vuonna 1964. Yritys on luotettava ja vastuullinen kumppani kaikessa teollisuudessa esiintyvässä instrumentoinnissa ja mittauksessa. Laaja tuotevalikoima, laadukkaat ja tarkat instrumentit sekä palvelut takaavat asiakkaille onnistuneita ratkaisuja. (WIKÄ, 2017)

WIKÄ Finland Oy on perustettu 1998, ja se on osa maailman johtavaa paineen ja lämpötilanmittauslaitteiden valmistajaa WIKÄ Alexander Wiegand SE & Co KG:tä. WIKÄ Finland Oy myy, jakelee, huoltaa sekä korjaa painemittareita, -lähettämiä, -välittämiä ja kytkimiä. WIKÄ Finland kykenee myös huoltamaan lämpömittareita, termopareja, suojataskuja ja erilaisia pinnankorkeuden- ja virtauksenmittauslaitteita. (WIKÄ, 2017)

7.3 Wika CPC4000

Teollinen CPC4000 - paineohjain tarjoaa käyttöön erittäin laajan painealueen, joka on -1 - 210 bar (-15...3 045 psi). Wika CPC4000 mittauslaitetta on saatavana pöytätasolle tai 19-tuumaiseen telineeseen asennettavaksi. Mittauslaite voi sisältää enintään kaksi vertailupaineanturia ja valinnaisen ilmapuntarin barometrisen paineen tai absoluuttisen paineen mittaamiseen. Ohjain pystyy tuottamaan 0,02 %:n tarkkuuden sekä kykenee pitämään paineen erittäin vakaana pitkän aikaa. Laite soveltuu hyvin lähettimien valmistukseen, paineenmittauslaitteiden kalibroimiseen ja huoltamiseen sekä tehtaiden ja työpisteiden vakiolaitteeksi kaiken tyyppisten paineenmittauslaitteiden kalibrointiin. Wika CPC4000 voi toimia re-

ferenssilaitteena. Laitteen tekee helpoksi käyttää siinä oleva kosketusnäyttö sekä yksinkertainen ja intuitiivinen valikkonavigointi. (Raiha, 2017)



Kuva 11. Wika CPC4000

Käytön tekee helpoksi mahdollisuus valita oma kieli valikkokielistä. Laitteessa voi olla enintään kaksi sisäistä paineanturia. Molempien vertailupaineanturien asteikot voidaan määrittää määritetyn mittausalueen sisällä.

Käyttökohteesta riippuen laitteesta voidaan valita yksi kolmesta vaihtoehdosta asetuspisteen valintaan:

1. Suora painearvon, eli asetuspisteen syöttö kosketusnäytön näppäimistöltä
2. Painearvon suuruus halutun tuloksen saavuttamiseksi joko kiinteästi määritetyin askelin tai asteikon prosenttiosuuksina
3. Käyttäjän määritettävissä olevien testijaksojen valinta ulkoisen ohjelmiston kautta. Esimerkiksi WIKA – CAL - ohjelmiston komennot

WIKA – CAL - kalibrointiohjelmistolla voidaan kalibroida paineenmittauslaitteita sekä tehdä valmiita kalibrointitodistuksia. Lisäksi laitetta voidaan ohjata myös etänä käyttämällä tiettyjä sarjakomentoja, kuten esimerkiksi Mensor -standardia, SCPI- tai muita vaihtoehtoisia komentosarjoja. (WIKA, 2017)

7.4 Ilma - öljyvälitin

Paineilma säättää sylinterin liikkeitä Wika CPC4000 -laitteen avulla. Enerpac RC1006 sylinterin mäntää voidaan liikuttaa ainoastaan öljyllä, joten paineilma ja öljy kohtaavat Ilma – öljyvälitimessä, joka on tilavuudeltaan noin yhden litran suuruinen (liite 2). Tällä öljyn määrällä sylinterin iskunpituudesta saadaan käyttöön noin 50 %. Ilma – öljyvälitimessä ilmanpaine saattaa vaikuttaa hydraulikka öljyn pintaan kahdella tavalla: suoraan

tai männän välityksellä. Paineen vaikuttaessa suoraan öljyn pintaan ilmaa saattaa sekoittua öljyn sekaan. Sekoittumista voidaan vähentää ns. hajotinlevyillä. Hajotinlevyt jakavat ilman ja öljyn tasaisemmin koko painealueelle. Ilman ja öljyn sekoittumista voidaan pyrkiä estämään käyttämällä ilma- ja öljysäiliöiden välissä mäntää. (Hulkkonen, 2017)

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli automatisoida vaakajärjestelmä niin, että kalibrointityö on luotettavampaa ja helpompaa. Projektin aikana oli mahdollisuus tutustua erilaisiin kalibrointimenetelmiin vaakojen osalta. Erilaisia paineen mittaamiseen kehitettyjä laitteita ja paineenmittaussovelluksia ja tarpeita on olemassa useita. Tämän vuoksi on hyvä kiinnittää huomiota mittauslaitteen oikeaan valintaan. On myös hyvä kiinnittää huomio siihen, että samoista asioista puhutaan samoilla termeillä sekaannusten välttämiseksi.

Tämän Opinnäytetyön tuloksena on saatu vaakalaitteisto uusittua automaattiseksi vanhan käsisäädön poistuttua käytöstä. Lentokonevaakojen kalibrointi on uudella laitteistolla nopeampaa ja luotettavampaa ja tulosten kirjaaminen on helpompaa. Tuloksen syöttäminen sekä referenssiarvon seuraaminen ovat selkeämpiä vanhaan menetelmään verrattuna. Tarkemman mittaamisen ansiosta laitteistoa on nyt mahdollista käyttää myös muuhun lentotekniseen huoltoon.

Automaation toteutus Wika CPC4000 -laitteistolla oli tietoinen valinta, koska saman valmistajan CPC8000 -laitteistoja on hankittu Puolustusvoimien käyttöön aikaisemmin. Pitäytyminen yhden valmistajan laitteistossa antaa hyvät mahdollisuudet tekniseen tukeen valmistajan edustajien kanssa.


Opinnäytetyön aihe oli todella mielenkiintoinen. Vanhan menetelmän heikkoudet löydettiin ja saatiin korjattua pois kokonaisuudessaan. Työn tilaaja Puolustusvoimat on tyytyväinen lopputulokseen ja uutta laitteistoa pystytään toteuttamaan monipuolisesti myös muuhun kalibrointiin liittyvään työntekoon.

LÄHTEET

- Equipment. (2017). Haettu 23. Maaliskuu 2017 osoitteesta <https://www.equipmentn.com/brands/all/categories/12/subcategories/20/subcategories/68/products/490/>
- Finas. (10. 10 2016). Haettu 21. Helmikuu 2017 osoitteesta https://www.finas.fi/Tiedostot%201/Julkaisut/finas_a2_Periaatteet_laboratorioiden_laadunvarmistus.pdf
- Finas. (2017). Haettu 12. Tammikuu 2017 osoitteesta <https://www.finas.fi/akkreditointi/Akkreditointialueet/Sivut/Kalibrointilaboratoriot.aspx>
- Hulkkonen, V. (21. Maaliskuu 2017). *kotisivukone.com*. Noudettu osoitteesta <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/13.pneumatiikan-perusteita-toimilaitteet.pdf>
- HUT. (2007). Noudettu osoitteesta metrology.hut.fi/courses/s-108.1010/Luento7_2007.PDF
- Ilmavoimat. (2007). Noudettu osoitteesta <http://ilmavoimat.fi/sotilasilmailumaaraykset>
- Jari Lavonen, V. M. (15. Maaliskuu 2017). *www.malux.edu.helsinki.fi*. Noudettu osoitteesta <http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/mbi/lampo/ilmiot.htm>
- Kumpulainen, A. (2016). *Opinnäytetyö*. Valkeakoski: HAMK.
- Mikes. (2011). *Laadukkaan mittaamisen perusteet* (s. www.vtt.fi). Espoo: Metrologian neuvottelukunta / Julkaisu J4/2011.
- Mikes. (2017). Haettu 12. Tammikuu 2017 osoitteesta <http://www.mikes.fi/mittayksiköt/jäljitettävyyys>
- Mittaustekniikan perusteet*. (2006). Haettu 15. Maaliskuu 2017 osoitteesta <http://metrology.tkk.fi/courses/s108-195/Luento6.pdf>/mittaustekniikan perusteet
- Puolustusvoimat. (16. Tammikuu 2017). *www.ilmavoimat.fi*. Noudettu osoitteesta www.ilmavoimat.fi: <http://ilmavoimat.fi/tietoa-meista1>
- Raiha. (10. 3 2017). *www.raiha.com*. Haettu 8. Maaliskuu 2017 osoitteesta www.raiha.com

- Saxholm, R. (2011). Haettu 15. Helmikuu 2017 osoitteesta
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2011-J1.pdf>
- WIKI. (20. Maaliskuu 2017). Noudettu osoitteesta
http://www.wika.fi/company_wika_finland_fi_fi.WIKA
- WIKI. (2017). Haettu 20. Maaliskuu 2017 osoitteesta
http://www.wika.fi/cpc4000_fi_fi.WIKA
- WIKI. (20. Maaliskuu 2017). *wika.fi*. Noudettu osoitteesta
http://www.wika.fi/company_wika_group_fi_fi.WIKA
- Wikipedia*. (18. Marraskuu 2016). Noudettu osoitteesta www.wikipedia.fi
- Wikipedia. (29. Maaliskuu 2017). Noudettu osoitteesta
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Metrijärjestelmä>

KALIBROINTIPÖYTÄKIRJA

 <p>3LOGR/ILMAVOIMIEN VARIKKO Lentotekniikkakeskus Kalibrointilaboratorio PL 69 33541 Tampere puh 0299 800 (vaihe) fax 0299 278 980</p>		KALIBROINTIPÖYTÄKIRJA			
		nro 823179F1117			
		Ohjenro	Erillinen ohje	Rev	Sivu
		1852		02	1/3
		Valmistaja / Tyypinro			
		Revere C-47160			
Laitteen nimi		Lentokonevaaka, näyttölaite + 3 voima-anturia			
Asiakas / tilausnro	Pvm	Suorittaja	H-nro	Yksilönro	F - nro
SatLsto	18.11.2016	T Survonon	061	4592	823179F
Laite täyttää	<input checked="" type="checkbox"/>	Ei täytä	<input type="checkbox"/>	valmistajan spesifikaatiot / käytetyn normin vaatimukset.	
Laitteen kalibroinnissa käytetty normi					
Laitteelle ei ollut käytettävissä spesifikaatioita	<input checked="" type="checkbox"/>				
<i>Kalibroinnit ovat jäljitettävissä kansallisiin tai kansainvälisiin mittanormaaleihin.</i>					
Kalibroinnissa käytetyt laitteet				F - nro	Kalib. voimassa
Interface 1121HL - 250 kN, voima-anturi				H48132F	08/18
Analogic AN 3070, näyttölaite				H48124F	08/18
Revere CSP1 - B10 - 50k - 30PS, voima-anturi				-----	
Analogic AN 3060, näyttölaite				-----	
Kalibroinnissa käytetyt ohjekirjat / ohjelmat (valmistaja + ohjekirjan / ohjeen nimi / versio)					

KALIBROINNIN SUORITUS

Kalibrointi suoritettiin vertaamalla kalibroitavia voima-antureita ja niihin kytkettyä näyttölaitetta

referenssinä toimivaan voima-anturiin ja sen näyttölaitteeseen. Ennen kalibrointia voima-antureita

kuormitettiin niiden maksimimittauskyvyn mukaisella voimalla 10 min, kuormitus poistettiin ja arvojen annettiin tasaantua 10 min, jonka jälkeen suoritettiin nollaus.

Jokaisessa kalibrointipisteessä asetettujen arvojen annettiin tasaantua 1 - 2 min.

Kuormitusvastikkeena käytettiin kalibroitavaan vaakasettiin kuuluvaa puolipalloa.

KALIBROINTITULOKSET

Kalibrointitulokset on esitetty alla olevissa taulukoissa.

Anturi keltainen

Referenssianturin lukema	Kalibroitavan anturin lukema	Kalibroitavan anturin poikkeama	
		% rdg	Lb
0	0	----	----
11090	2500	0,41	10
22210	5000	0,27	14
33305	7500	0,30	23
44420	10000	0,27	27
55530	12500	0,27	33
66615	15000	0,30	45
77710	17500	0,31	54
88810	20000	0,31	62
99915	22500	0,30	69
111050	25000	0,27	69

Anturi punainen

Referenssianturin lukema	Kalibroitavan anturin lukema	Kalibroitavan anturin poikkeama	
N	lb	% rdg	Lb
0	0	----	----
11050	2500	0,77	19
22175	5000	0,43	22
33290	7500	0,35	26
44405	10000	0,31	31
55525	12500	0,27	34
66620	15000	0,29	43
77700	17500	0,32	56
88850	20000	0,26	53
99950	22500	0,27	61
111095	25000	0,23	59

Anturi sininen

N	lb	% rdg	Lb
0	0	----	----
11040	2500	0,87	22
22185	5000	0,39	19
33310	7500	0,29	22
44440	10000	0,23	23
55575	12500	0,18	23
66680	15000	0,20	30
77760	17500	0,24	42
88900	20000	0,21	41
100040	22500	0,18	40
111150	25000	0,18	46

KALIBROINTIOLOSUHTEET

Lämpötila +22 °C ± 2 °C

Keskimääräinen ilmanpaine 990 hPa

Putoamiskiihtyvyyden arvo 9.81984 m/s²**HUOMAUTUS!**

Kiertokytkimen 25000 lb alue ei toimi.

25000 lb arvo mitattu 22500 lb alueella + hienosäätöruuvilla lisätty 2500 lb.

VAAKAJÄRJESTELMÄ

